

## 明 細 書

## 高抵抗シリコンウェーハの製造方法、並びにエピタキシャルウェーハおよびSOIウェーハの製造方法

## 技術分野

[0001] 本発明は、高周波通信デバイスまたはアナログ、デジタル混載デバイスの支持基板等を使用される高抵抗シリコンウェーハの製造方法、並びに得られた高抵抗シリコンウェーハを用いたエピタキシャルウェーハおよびSOIウェーハの製造方法に関するものである。

## 背景技術

[0002] CMOSプロセスにおいては、回路のRF特性(高周波特性:Radio Frequency)の飛躍的な向上にともない、RF領域における、低コストRF-CMOS-LSIが現実化されるようになっている。例えば、携帯機器向けのトランシーバIC、高速大容量の伝送に適した無線LANトランシーバIC、またはアナログ、デジタル混載デバイスへの応用が顕著である。

[0003] かつて、CMOSプロセスにおけるRF特性が劣っていたことから、RF-CMOS回路での製造コストも高く、CMOSプロセスによる高周波回路の設計は積極的に取り組まれていなかった。このため、従来の高周波回路の設計には、GaAsなどの化合物半導体による回路基板の主流であった。しかし、GaAsなどの基板はRF特性が優れるものの、製造費用が高価であり、ウェーハ径の大口径化や結晶欠陥制御性などに問題がある。

[0004] これに対し、シリコンウェーハはウェーハ径の大口径化や結晶欠陥の制御性に優れるとともに、低廉な製造費用を特徴としている。このため、RF-CMOS回路基板としてシリコンウェーハの利用が考えられるが、通常、抵抗値 $10\ \Omega\text{cm}$ 以下のウェーハを回路基板として用いた場合には、RF-ICの性能向上に限界がある。

[0005] これは、RF回路は、デジタル回路とは異なり、オンチップのインダクタ素子、高精度の容量素子などのアナログ受動素子を利用しており、特に、インダクタはシリコンウェーハ基板の寄生効果がその特性に大きく影響を及ぼすことから、プロセスの微細化

のみではデバイス性能の向上には限界がある。このため、デバイス性能の向上を図るには、シリコンウェーハの抵抗率を高抵抗にする必要がある。

- [0006] また、アナログ、デジタル混載デバイスでは、デジタル回路で発生した深い基板ノイズをアナログ回路へ伝搬するのを抑制するため、高抵抗のシリコン基板を提供することが要請される。
- [0007] しかしながら、チョクラルスキー法（以下、「CZ法」という）で製造したシリコン結晶は、石英坩堝を利用して結晶育成を行っているため、結晶中に過飽和な酸素を含有し、この酸素がデバイス製造の熱処理工程において、サーマルドナーやニュードナーという酸素ドナーを形成することにより、デバイス製造の工程における熱処理後に基板の抵抗率が変動するという事態が発生する。
- [0008] 図1は、酸素ドナー発生量とウェーハの抵抗率との関係を模式的に示す図である。抵抗率が $10\ \Omega\text{cm}$ 程度の低抵抗ウェーハの場合、酸素ドナーの発生量に比しドーパント量が十分多いので、酸素ドナーが生じて抵抗率への影響は軽微である。ところが、高抵抗ウェーハの場合、ドーパント量が少ないため、その抵抗率は酸素ドナーの発生量により大きく影響される。
- [0009] 特にp型ウェーハの場合、アクセプターによる正孔でもたらされていた導電性は、ドナーによる電子の供給により消滅して抵抗率が著しく上昇し、さらにドナーが増すと、n型の半導体に反転し抵抗率が低下する。この酸素ドナーの発生しやすい温度域での加熱は、デバイス製造の熱処理工程として、例えば、配線シンタリング工程でシンタリング熱処理が必然的におこなわれる。
- [0010] デバイス製造後の抵抗率の変動を抑制するため、磁場印加による結晶育成（MCZ法）などを採用して、結晶中の固溶酸素濃度を低下することが試みられている。しかし、磁場印加による方法では、製造コストの増加とともに、結晶の大口径化にともない固溶酸素濃度の下限値が $6 \times 10^{17}\text{atoms/cm}^3$ に留まることが報告され、極低酸素結晶の育成での技術的な限界も指摘されている。また、結晶の低酸素化にともない、デバイス製造の工程における熱処理後において、結晶の機械的強度が劣化することも懸念される。
- [0011] このような問題を解決するため、近年、種々の提案がなされている。まず、国際公開

第WO00/55397号パンフレット(以下、「文献1」という)では、抵抗率が $100\ \Omega\text{cm}$ 以上で、初期格子間酸素(固溶酸素)濃度が $10\text{--}25\text{ppma}$ ( $7.9 \times 10^{17}\text{--}19.8 \times 10^{17}\text{atoms/cm}^3$ [Old ASTM])の、通常の酸素量を含むCZ法による単結晶をウェーハに加工し、これに酸素析出処理を施して、残留格子間酸素濃度を $8\text{ppma}$ ( $6.4 \times 10 \times 10^{17}\text{atoms/cm}^3$ [Old ASTM])以下にする方法が開示されている。この方法で得られたウェーハは、デバイス製造過程で受ける熱処理にて、酸素ドナーの発生が抑止され抵抗率の低下がないとしている。

[0012] また、特開2000-100631号公報(以下、「文献2」という)には、抵抗率が $100\ \Omega\text{cm}$ 以上の高抵抗ウェーハに、このDZ-IG処理を施すウェーハおよびその条件に関する発明が開示されている。これは、文献1に記載の発明と同様、ウェーハのいずれの部分でも格子間酸素濃度が $8\text{ppm}$ 以下であって、表面近傍のDZとバルク部の酸素析出物層とを有し、その上でDZと酸素析出物層との遷移領域の幅が $5\ \mu\text{m}$ 以下であるとするものである。

[0013] 上記の文献1、2で提案された方法によれば、酸素濃度が高く汎用されるシリコン結晶を用いるので製造コストを抑制することができ、その後の酸素析出熱処理により残存酸素濃度を低下させる。したがって、得られたシリコンウェーハは、残存酸素濃度を低下させていることから、デバイス製造の熱処理工程での酸素ドナーの発生を効果的に抑制できる。また、残存酸素濃度を低下させるために酸素析出熱処理を行っていることから、ウェーハ内部(バルク部)に高密度の酸素析出欠陥を発生させ、ゲッタリング能力の向上も期待できるとしている。

[0014] しかしながら、前記文献1、2で提案された方法は、前述の通り、高酸素濃度で、高抵抗ウェーハを製造したのち、長時間の酸素析出熱処理により高密度の酸素析出物を形成し、残存酸素濃度を十分に低下させる方法であるが、熱処理条件の選定により残存酸素濃度を $8\text{ppma}$ 以下に低下させることは必ずしも容易ではない。その上、これらに起因して、幾つかの問題が発生する。

[0015] 第1の問題は、シリコンウェーハの残存酸素濃度を十分に、言い換えると、残存酸素濃度を過剰に低下させることから、ウェーハの機械的強度が著しく劣化する。このため、熱処理中のウェーハ支持部などから発生したスリップ転位が酸素により固着さ

れ、その結果、スリップ長が酸素濃度の上昇とともに低下することがある(例えば、M.Akatsuka et al., Jpn. J. Appl. Phys., 36 (1997) L1422、参照)。

[0016] また、ウェーハに強度を与える因子として酸素析出物があり、熱応力や自重応力が小さい場合は、スリップ転位の運動を抑制し強度を高めることができるが、これらが大きくなる場合には、酸素析出物自身がスリップ転位源となり、強度が低下しウェーハに反りなどが発生するおそれがある(例えば、K.Sueoka et al., Jpn. J. Appl. Phys., 36 (1997) 7095、参照)。

[0017] 第2の問題は、長時間の酸素析出熱処理にともなう製造コストの増加である。バルク部の残存酸素濃度を減少させるには、高密度の酸素析出物の形成が必要となり、高温、かつ長時間の加熱処理が必要になる。これにともなう酸素析出熱処理による製造コストが高騰し、初期ウェーハの製造コストを抑制できたとしても、最終製品のウェーハ価格は高価なものにならざるを得ない。

[0018] 第3の問題は、酸素析出熱処理にともなう熱処理炉内での重金属汚染の懸念である。本発明者らの検討によれば、前記文献2で提案される熱処理プロセスでは、加熱時間は少なくとも17時間が必要となり、最大で47時間にも及ぶ。このような長時間の酸素析出熱処理を必要とすることから、熱処理炉内における重金属汚染の可能性を否定できない。

#### 発明の開示

[0019] 本発明は、上述した高抵抗ウェーハの製造に際し適用される酸素析出熱処理での問題点に鑑みてなされたものであり、CZ法で炭素を添加して育成された高抵抗ウェーハに、昇温操作(ランピング)による前熱処理と、高温熱処理および中温熱処理を組み合わせることで、製造費用の低減が図れ、しかもデバイス製造の工程における熱処理後の酸素ドナーの発生を効果的に抑制でき、さらにゲッタリング能力、ウェーハの機械的強度を発揮することができる、高抵抗シリコンウェーハの製造方法を提供することを目的にしている。

[0020] 従来の高抵抗ウェーハの製造で懸念される問題点を解消し、優れた特性を具備する高抵抗シリコンウェーハは、エピタキシャルウェーハとして、さらに十分に移動体通信用のSOIウェーハとして使用できるものであるから、本発明は、上記の高抵抗シリ

コンウェーハを用いたエピタキシャルウェーハおよびSOIウェーハの製造方法を提供することも目的にしている。

- [0021] 本発明者らは、上記の目的を達成するため、酸素析出熱処理の際に発生する、酸素析出物の過剰生成やこれにともなうウェーハ中の残存酸素濃度の顕著な低下に着目して、高抵抗シリコンウェーハにおける酸素析出物の生成挙動、さらに、これに影響を受ける酸素ドナーの発生状況について検討を加えた。
- [0022] その結果、ウェーハに炭素を添加することによって、酸素析出が促進されるとともに、酸素ドナーの生成抑制、特にサーマルドナーの抑制に有効であることが明らかになる。
- [0023] 従来から、抵抗率の低いシリコンウェーハでは、炭素添加が酸素ドナーの生成抑制に有効であることは知られている(例えば、A. B. Bean et al., J. Phys. Chem. Solids, 1972, Vol.33, pp 255-268、参照)。具体的には、 $10\ \Omega\text{ cm}$ 以下の低い抵抗率の場合には、酸素ドナーの抑制に必要な炭素添加濃度は $1 \times 10^{18}\text{ atoms/cm}^3$ である。
- [0024] ところが、 $100\ \Omega\text{ cm}$ 以上の高い抵抗率のシリコンウェーハに、このような高濃度な炭素を添加した場合には、有転位化などの問題が予測される。しかし、初期抵抗率が $100\ \Omega\text{ cm}$ 以上の高抵抗ウェーハであっても、単結晶化に影響を及ぼさない炭素濃度範囲があり、この範囲内にコントロールして炭素を添加することによって、有転位化などの問題を生ずることなく、酸素析出を促進し、酸素ドナーの生成抑制にも効果があることが分かる。
- [0025] さらに、昇温操作(ランピング)による前熱処理と、高温熱処理および中温熱処理を組み合わせることにより、ニュードナーなどの酸素ドナーをより効果的に抑制できることを見出した。具体的には、昇温レートをコントロールした第1熱処理と、 $1150^\circ\text{C}$ 以上の高温熱処理およびその後の $1000\sim 1150^\circ\text{C}$ の中温熱処理からなる第2熱処理を施すことにより、効果的に酸素ドナーの生成を抑制できる。
- [0026] そして、高酸素濃度のウェーハを用いる場合には、昇温レートをコントロールした第1熱処理で析出核の成長が十分に促進され、核成長が飽和した状態になることから、さらに第2熱処理の条件を変更することによっても、酸素ドナーの生成を抑制することができる。しかも、酸素析出物の過剰な生成が不要になることから、熱処理にともなう

製造コストの低減を実現できる。また、過剰な酸素析出が抑制されるため、ウェーハの機械的強度の劣化を改善できる。

- [0027] 前記図1に示すように、高抵抗シリコンウェーハでは、その抵抗率が酸素ドナーの発生量により大きく影響する。特にp型ウェーハの場合には、生成される酸素ドナーが増すと、n型の半導体に反転したり抵抗率が大きく変動する。この抵抗率の低下によって、ウェーハ内部の抵抗率が低くなりすぎると、デバイス使用領域よりも深い位置を通る電流量が増加し、エネルギー損出や電流ノイズを発生させることから、デバイス特性を著しく悪化させることになる。
- [0028] 生成される酸素ドナーは、酸素クラスターと推定されているサーマルドナー (Old Donor) と微小な析出物が初期形態されたと考えられるニュードナー (New Donor) からなる。これらの酸素ドナーは、前記の第1熱処理および第2熱処理によって溶解または結合形態の変化を生じ、電気的に不活性化することにより生成が抑制されると推察される。
- [0029] 酸素ドナーに関する種々の検討の結果、本発明者らは、デバイス製造において採用される熱処理を前提として、その熱処理後にウェーハ内部に発生する酸素ドナーの許容量を明確にすることができた。すなわち、初期抵抗が $100\ \Omega\text{cm}$ 以上の高抵抗ウェーハの場合に、デバイス製造における熱処理後の酸素ドナーの生成量が $1 \times 10^{13}\text{atoms/cm}^3$ 以下であれば、その後のウェーハ抵抗率を高抵抗に維持でき、抵抗値の大きな変動を防ぎ、n型反転やエネルギー損出や電流ノイズの発生を防止できる。
- [0030] さらに、本発明者らは、デバイス製造の工程における熱処理、すなわち、酸素ドナー形成熱処理後の酸素ドナー生成量と、同熱処理前のウェーハ中の残存酸素量とは強い関係があることを明らかにした。
- [0031] 図2は、デバイス製造の工程における熱処理条件をパラメータとしたウェーハ残存酸素量と熱処理後の酸素ドナー生成量の関係を模式的に示す図である。熱処理後の酸素ドナーの発生量は、熱処理前におけるウェーハの残存酸素量に著しく依存しており、デバイス製造で採用する熱処理条件が決定されると、ウェーハ中の残存酸素量と熱処理後に生成される酸素ドナー生成量との関係は一義的に定まる。

- [0032] デバイス製造の工程における熱処理は、具体的には、配線シンタリング工程でのシンタリング熱処理が想定でき、その加熱条件は400℃で1時間～450℃で5時間である。ウェーハ中の残存酸素が熱処理時に示す挙動予測から、図2には熱処理条件が4種(A～D)が示されているが、例えば、熱処理条件Aを450℃で5時間の加熱処理とし、熱処理条件Dを400℃で1時間の加熱処理とすることができる。
- [0033] 前述の通り、初期抵抗が100 Ω cm以上の高抵抗ウェーハを用いる場合には、デバイス製造の工程における熱処理後の酸素ドナーの生成量が $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であれば、その後の抵抗率を高抵抗に維持でき、ウェーハ内部での抵抗率の変動を回避できる。したがって、デバイス製造の熱処理後の酸素ドナーの許容量を $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下とし、ウェーハ中の残存酸素量をコントロールできれば、酸素析出物の過剰生成やこれにともなうウェーハ中の残存酸素濃度の過剰な低下を回避できる。
- [0034] そこで、図2に示す関係に基づけば、前記酸素ドナーの許容量を満足するウェーハ残存酸素濃度を、デバイス製造の工程における熱処理条件ごとに定めることができる。熱処理条件A～Dによって定められたウェーハ中の残存酸素濃度は、a、b、cおよびd( $a < b < c < d$ )となる。
- [0035] ここで、ウェーハ中の残存酸素の下限を図2に示す残存酸素濃度aとし、一方、上限を残存酸素濃度dとすれば、デバイス製造の工程における熱処理条件と適宜組み合わせることによって、デバイス製造の熱処理後においても、上記酸素ドナーの許容量を満足することができる。
- [0036] すなわち、酸素ドナーの許容量を明確にし、過剰に酸素ドナーの生成を抑制すること、言い換えると、過剰にウェーハの残存酸素量を低減することをなくせば、長時間の酸素析出熱処理を不要とし、製造コストの低減とともに、ウェーハの機械的強度の劣化を回避することができる。
- [0037] 本発明は、上記検討および知見に基づいて完成されたものであり、下記の(1)～(5)の高抵抗シリコンウェーハの製造方法を要旨としている。
- (1) CZ法により抵抗率が100 Ω cm以上で、初期格子間酸素濃度が $8 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979) 以上であり、さらに炭素濃度が $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$

／ $\text{cm}^3$  (ASTM F123-1981)であるシリコンウェーハを用いて、第1熱処理として、少なくとも700～850℃の温度領域における昇温レートを0.5～10℃／minとし、850～1000℃で0.5～5時間の加熱処理を施し、さらに第2熱処理として、1150℃以上で1～2時間の加熱処理に引き続き、降温して1000～1150℃で2～10時間の加熱処理を施すことを特徴とする高抵抗シリコンウェーハの製造方法である。

(2)前記(1)の高抵抗シリコンウェーハの製造方法では、前記初期格子間酸素濃度が $13 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979)以上であるシリコンウェーハを用いる場合に、前記第2熱処理として、1150℃以上で1～2時間の加熱処理のみを施すのが望ましい。また、前記第1熱処理および第2熱処理は非酸化性雰囲気中で、連続して行うのが望ましい。

(3)前記(1)の高抵抗シリコンウェーハの製造方法では、得られたシリコンウェーハにデバイス製造の工程における熱処理がおこなわれたとき、ウェーハ内部に発生する酸素ドナー量が $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であるのが望ましい。

(4)前記(1)の高抵抗シリコンウェーハの製造方法では、得られたシリコンウェーハの残存酸素濃度が $6.5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979)以上で、かつ $13.5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979)以下であり、デバイス製造の工程における熱処理がおこなわれたとき、ウェーハ内部に発生する酸素ドナー量が $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であるのが望ましい。

(5)さらに、前記(1)の高抵抗シリコンウェーハの製造方法では、得られたシリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成すること、または、得られた高抵抗シリコンウェーハを支持基板としてSIMOX型SOIウェーハ、および貼り合わせ型SOIウェーハを製造するのが望ましい。

#### 図面の簡単な説明

[0038] 図1は、酸素ドナー発生量とウェーハの抵抗率との関係を模式的に示す図である。

図2は、デバイス製造の工程における熱処理条件をパラメータとしたウェーハ残存酸素量と熱処理後の酸素ドナー生成量の関係を模式的に示す図である。

図3は、本発明の2段熱処理の加熱温度および加熱時間の条件を示す図であり、同(a)は第1熱処理の加熱条件を、同(b)は第2熱処理の加熱条件をそれぞれ示し



ている。

図4は、本発明の第2熱処理における中温熱処理の加熱時間がウェーハ残存酸素濃度に及ぼす影響を示す図である。

図5は、初期格子間酸素濃度が高いウェーハを用いる場合における、本発明の第2熱処理での中温熱処理の加熱時間がウェーハ残存酸素濃度に及ぼす影響を示す図である。

図6は、第3熱処理の加熱温度および加熱時間の条件を示す図である。

図7は、初期格子間酸素濃度が高いウェーハを用いる場合における、第3熱処理での1000℃熱処理の加熱時間がウェーハ残存酸素濃度に及ぼす影響を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

- [0039] 本発明の製造方法では、抵抗率が $100\ \Omega\text{ cm}$ 以上で、初期格子間酸素濃度が $8 \times 10^{17}\text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979) 以上であり、さらに炭素濃度が $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17}\text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F123-1981) であるCZ法によるシリコンウェーハを対象としている。
- [0040] 抵抗率が $100\ \Omega\text{ cm}$ 以上とするのは、デバイスの取り扱う周波数が高くなり、特に2.4GHzまたは5.2GHzを超えるようになってくると、従来の $10\ \Omega\text{ cm}$ 以下の低抵抗の基板では、ノイズの発生や信号の減衰が顕著になるが、高抵抗にするとこれらの影響を低減できるからである。
- [0041] ウェーハの初期格子間酸素(固溶酸素)濃度を $8 \times 10^{17}\text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979) 以上としているのは、通常CZ法で製造される汎用のシリコン単結晶が具備する固溶酸素を包含させることを意図するものである。しかし、ウェーハ内部(バルク部)の酸素は、ゲッタリング作用を有するBMD (Bulk Micro Defect) を形成させる酸素析出物となって存在するのが望ましい。
- [0042] 炭素は、電氣的に中性でゲッタリング作用を有する酸素析出物の形成を促進させたり、熱処理により格子間酸素(固溶酸素)が低下しウェーハ強度が低下するときに、強度を維持する効果があり、さらに、酸素析出を促進するとともに、酸素ドナーの生成抑制にも効果がある。これを達成するため、 $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17}\text{ atoms/cm}^3$  (

ASTM F123-1981)含有させる。

- [0043] この場合、 $5 \times 10^{15}$  atoms/cm<sup>3</sup> (ASTM F123-1981)未満では、その効果が十分現れず、多すぎる含有ではCZ法の単結晶育成時に多結晶化や有転位化し易くなるので、 $5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup> (ASTM F123-1981)以下とする。炭素濃度をこの範囲内にコントロールすることによって、有転位化などの問題を生ずることなく、酸素析出を促進し、酸素ドナーの生成抑制にも効果がある。
- [0044] 本発明の製造方法では、上記の高抵抗シリコンウェーハを用い、第1熱処理と第2熱処理とからなる2段熱処理を施すことを特徴としている。第1熱処理は、少なくとも700～850℃の温度領域における昇温レートを0.5～10℃/minとし、850～1000℃で0.5～5時間の加熱処理を施すことを必須としている。この第1熱処理では、低温からの昇温操作(ランピング)により微小な析出核の形成およびその成長を促す。
- [0045] 一方、第2熱処理は、1150℃以上で1～2時間の加熱処理に引き続き、1000℃～1150℃に降温して2～10時間の加熱処理を施すことを必須としている。第2熱処理では、外方拡散熱処理および析出物の成長促進を目的としている。
- [0046] 図3は、本発明の2段熱処理の加熱温度および加熱時間の条件を示す図であり、同(a)は第1熱処理の加熱条件を、同(b)は第2熱処理の加熱条件をそれぞれ示している。本発明のウェーハ熱処理炉としては、例えば、横型炉が用いられる。
- [0047] (第1熱処理について)
- 第1熱処理では、当該ウェーハを550～800℃の温度範囲に調整された熱処理炉内に投入したのち(a工程)、その後の昇温操作により、少なくとも700～850℃の温度領域における昇温レートを0.5～10℃/minとする(b工程)。このb工程での昇温操作により、ウェーハ内部に酸素析出核を形成させ、その酸素析出核の密度を向上させることができる。
- [0048] 次に、850～1000℃の温度範囲で0.5～5時間の熱処理を施す(c工程)。このc工程では、後述するf工程の熱処理で内部の酸素析出核が消滅しない程度に、酸素析出核の成長を促すものであるから、850～1000℃の温度範囲で昇温操作(ランピング)を行ってもよい。
- [0049] その後、降温し、ウェーハを熱処理炉から取り出す(d工程)。ただし、第2熱処理と

連続処理する場合には、ウェーハを熱処理炉から取り出すことを要しない。

- [0050] 上記a工程で熱処理炉内の保持温度を550℃～800℃とするのは、この温度範囲が酸素析出核の成長を促進させる温度範囲であることによる。
- [0051] 上記b工程での昇温操作で重要な温度領域は700～850℃である。この温度領域での昇温レートを0.5～10℃/minとするのは、0.5℃/min未満では微小析出核の成長が可能であるが、熱処理が長時間となりコスト高となるのに対し、10℃/min超えの昇温レートでは微小析出核の成長が抑制され、析出核の密度を高めることができないことによる。
- [0052] 上記c工程で850～1000℃で0.5～5時間の加熱処理をするのは、850℃未満または0.5時間未満の加熱処理では析出核の成長が十分ではなく、1000℃を超える温度または5時間を超える加熱処理では、析出核の成長が過多になるからである。上記の加熱条件を満足する限りにおいては、上記c工程では昇温操作(ランピング)を行ってもよい。
- [0053] (第2熱処理について)  
第2熱処理では、当該ウェーハを熱処理炉内に投入したのち(e、f工程)、昇温して1150℃以上で1～2時間の熱処理を施す(g工程)。これに引き続いて1000～1150℃の温度範囲に降温して、2～10時間の熱処理を施す(h工程)。その後降温し、ウェーハを熱処理炉から取り出す(i工程)。
- [0054] 上記g工程で1150℃以上の加熱温度としているのは、表面近傍の酸素濃度を外方拡散により低下させるとともに、COPなどの欠陥を溶解させ、ウェーハ表面近傍の完全性を高めるためである。1150℃未満では、COPなどの欠陥密度を低下させる能力が低くなる。一方、加熱温度が1350℃を超えると、ウェーハへのスリップが発生したり、プロセス中で金属汚染が発生するおそれがある。このため、g工程での加熱温度の上限は1350℃にするのが望ましい。
- [0055] さらに、g工程での加熱時間を1～2時間としているのは、1時間未満ではCOPなどの欠陥密度の低下が十分に行われず、また2時間を超えるようになると、スリップや金属汚染のおそれが発生するからである。
- [0056] 上記h工程で加熱温度を1000～1150℃としているのは、1000℃未満では酸素

析出物の成長が促進されず、1150℃を超える場合には、酸素析出物が溶解し、析出密度の低下が生ずるからである。

[0057] さらに、h工程での加熱時間を2〜10時間としているのは、2時間未満では酸素析出物の成長が十分ではなく、10時間を超えると析出物の成長が過多となり、ウェーハの機械的強度の劣化を促進するおそれがあるからである。後述の図4に示すように、h工程での加熱時間を調整することにより、酸素析出物の成長を促し、ウェーハ中の残存酸素濃度をコントロールすることができる。

[0058] 一方、高酸素濃度のウェーハを用いる場合には、第1熱処理で微細な析出核の成長が十分に促進され、核成長が飽和した状態になることから、第2熱処理での酸素析出物の成長促進が図れない場合がある。このような場合には、h工程を省略することができる。

[0059] 第2熱処理では、上記i工程でウェーハの取り出し温度を規定するものではないが、その温度を600〜800℃にするのが望ましい。取り出し温度が600℃未満になると、酸素ドナーの生成の可能性がある、800℃を超える場合には取り出し中にスリップ（転移）が導入され易く、ウェーハのワレなどが発生するおそれがある。

[0060] （熱処理の雰囲気について）

第1熱処理の雰囲気としては、酸化性雰囲気、または非酸化性雰囲気のいずれであってもよい。非酸化性雰囲気を構成するガスとしては、アルゴン(Ar)、水素(H<sub>2</sub>)またはこれらの混合ガス(Ar+H<sub>2</sub>)、若しくは窒素(N<sub>2</sub>)に少量の酸素(3%O<sub>2</sub>)を含有した混合ガスを用いるのが望ましい。

[0061] ところが、酸化性雰囲気、または純N<sub>2</sub>ガス雰囲気で熱処理を施すと、ウェーハ表面に酸化膜または窒化膜が形成されるので、第2熱処理を施す前に、これらの膜を除去する工程（フッ酸洗浄など）が新たに必要になる。したがって、第1熱処理の雰囲気としては、非酸化性雰囲気を用いるのが望ましい。この場合に、Ar、H<sub>2</sub>ガスは高価であることから、コスト面や作業性の面で、N<sub>2</sub>に少量の酸素(3%O<sub>2</sub>)を含有した混合ガスを用いるのがさらに望ましい。

[0062] 第2熱処理の雰囲気は、非酸化性雰囲気を用いるのが望ましく、Ar、H<sub>2</sub>、Ar+H<sub>2</sub>、およびN<sub>2</sub>（含む3%O<sub>2</sub>）ガスを用いることができる。N<sub>2</sub>（含む3%O<sub>2</sub>）ガスは、酸素外

方拡散作用があり、DZ層（無欠陥層、DZ: Denuded Zone）を形成することができるが、ウェーハ表層部に存在するCOPを消滅させる作用がない。このため、第2熱処理の雰囲気としては、非酸化性雰囲気を選択し、Ar、H<sub>2</sub>、またはAr+H<sub>2</sub> ガスを採用するのが望ましい。

[0063] 第1熱処理および第2熱処理を効率的に実施するには、両者のガス雰囲気を同じとし、同一の熱処理装置、または連続する熱処理炉を用いて連続して実施するのが望ましい。この場合には、前記図3に示す第1熱処理のd工程および第2熱処理のe工程を省略することができる。

[0064] （酸素ドナーの生成量）

本発明の製造方法では、得られたシリコンウェーハにデバイス製造の工程における熱処理がおこなわれたとき、ウェーハ内部に発生する酸素ドナー量が $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であることが望ましい。

[0065] 例えば、 $100 \Omega \text{ cm}$ 以上の高抵抗ウェーハへの酸素ドナー形成熱処理として、 $400^\circ\text{C}$ で1時間～ $450^\circ\text{C}$ で5時間の加熱処理が施される場合に、熱処理後の酸素ドナーの生成量が $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であれば、その後のウェーハ抵抗率を高抵抗のまま維持でき、抵抗値の大きな変動やn型反転を防ぎ、さらにエネルギー損出や電流ノイズの発生を防止することによる。

[0066] （残存酸素濃度について）

本発明の製造方法では、得られたシリコンウェーハの残存酸素濃度が $6.5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979) 以上で、かつ $13.5 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979) 以下であり、デバイス製造の工程における熱処理がおこなわれたとき、ウェーハ内部に発生する酸素ドナー量が $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であることが望ましい。

[0067] 前記図2は、ウェーハの残存酸素量とデバイス製造の工程における熱処理後の酸素ドナーの生成量の関係を示す図である。まず、ウェーハの残存酸素を過剰に低減させないため、ウェーハの残存酸素の下限濃度を検討する。この場合には、最も酸素ドナーの生成を促す熱処理条件である、前記図2に示す熱処理条件Aを用いることになる。

- [0068] 一方、デバイス製造の工程における熱処理条件のうち、最も酸素ドナーの生成が少ない前記図2に示す熱処理条件Dを用いることによって、酸素ドナーの許容量に対応するウェーハの残存酸素の上限濃度を定めることができる。
- [0069] ウェーハの残存酸素の上下限濃度の検討に当たり、まず、デバイス製造での熱処理条件AおよびDを特定して、ウェーハの残存酸素量とデバイス製造の熱処理後の酸素ドナーの生成量との関係を示すマスターテーブルを作成する。このマスターテーブルの例としては、前記図2に示す、熱処理条件AおよびDをパラメータとしたウェーハ残存酸素量と熱処理後の酸素ドナー生成量との関係が示される。
- [0070] これらのマスターテーブルに基づいて、熱処理後の酸素ドナーの許容量(上限値)である $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ から、ウェーハの残存酸素濃度aおよびdを求めることによって、本発明の高抵抗ウェーハが具備することが望ましい下限および上限の残存酸素濃度が定まる。
- [0071] 具体的に、ウェーハの残存酸素濃度aおよびdを決定するために、CZ法で育成し、抵抗率が $2000 \Omega \text{ cm}$ で、初期格子間酸素濃度 $13 \sim 15 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979)で、さらに炭素濃度 $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F123-1981)の8インチ、p型ウェーハに加工後、 $650^\circ\text{C}$ で1時間のドナーキラ熱処理を実施したサブウェーハを準備した。
- [0072] 準備したサブウェーハに、第1熱処理として $\text{N}_2$  (含む3% $\text{O}_2$ )ガス雰囲気を用い、ウェーハ投入温度 $700^\circ\text{C}$ で昇温レートを $1^\circ\text{C/min}$ とし、 $900^\circ\text{C}$ で1時間の加熱処理を施した。次いで、第2熱処理としてArガス雰囲気を用い $1200^\circ\text{C}$ で1時間の加熱処理後に、 $1000^\circ\text{C}$ に降温して10時間の加熱処理を施した。
- [0073] 得られたウェーハに $\text{N}_2$  (含む3% $\text{O}_2$ )ガスを用いて、 $450^\circ\text{C}$ で5時間の酸素ドナー形成熱処理を行って、前記図2に示す、熱処理条件Aをパラメータとしたウェーハ残存酸素量と熱処理後の酸素ドナー生成量との関係を示すマスターテーブルを作成した。同じ手順に沿って、 $400^\circ\text{C}$ で1時間の酸素ドナー形成熱処理を行って、前記図2に示す熱処理条件Dのマスターテーブルを作成した。
- [0074] これらのマスターテーブルに基づいて、熱処理後の酸素ドナーの許容量から、ウェーハの残存酸素の下限および上限の濃度を求めると、表1の結果を得る。

[0075]

表 1

区 分	下限濃度用 マスターテーブル	上限濃度用 マスターテーブル
酸素ドナー 形成熱処理	450℃×5Hr (熱処理条件A)	400℃×1Hr (熱処理条件D)
酸素ドナーの 許容量 (上限)	$1 \times 10^{13}$ atoms/cm <sup>3</sup>	$1 \times 10^{13}$ atoms/cm <sup>3</sup>
ウェーハの 残存酸素濃度	$6.5 \times 10^{17}$ atoms/cm <sup>3</sup>	$13.5 \times 10^{17}$ atoms/cm <sup>3</sup>

[0076] 表1の結果から、本発明の方法で得られたシリコンウェーハの残存酸素濃度は、 $6.5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>以上で、かつ $13.5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>以下であるのが望ましく、これにより、デバイス製造の工程における熱処理がおこなわれたとき、ウェーハ内部に発生する酸素ドナー量が $1 \times 10^{13}$  atoms/cm<sup>3</sup>以下を満足することができる。

[0077] (第2熱処理における中温熱処理)

本発明の製造方法では、第2熱処理における中温熱処理(前記図3のh工程)の加熱時間を調整することにより、ウェーハ中の残存酸素濃度をコントロールすることができる。

[0078] 図4は、本発明の第2熱処理における中温熱処理の加熱時間がウェーハ残存酸素濃度に及ぼす影響を示す図である。ウェーハ残存酸素濃度は、第2熱処理における中温熱処理条件に依存する。

[0079] このことを確認するため、CZ法による8インチ、p型ウェーハを準備し、試験No. 1〜6の供試材を作製した。供試材のサブウェーハ条件および熱処理条件は、次の通りとした。

(1) サブウェーハの条件

a. 炭素濃度 $5 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>3</sup> (ASTM F123-1981)

b. 抵抗率600 Ω cm (試験No. 1〜4)、

初期格子間酸素濃度 $13.5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup> (試験No. 1〜4)

- c. 抵抗率 $3000\ \Omega\text{cm}$ (試験No. 5-6)、  
初期格子間酸素濃度 $15 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ (試験No. 5-6)
- d. ウェーハに加工後、 $650^\circ\text{C} \times 1\text{Hr}$ でドナーキラー熱処理を実施。

(2) 第1熱処理の条件

- a.  $\text{N}_2$ (含む3% $\text{O}_2$ )ガス雰囲気を用い、投入温度 $700^\circ\text{C}$ で昇温レート $1^\circ\text{C}/\text{min}$
- b.  $900^\circ\text{C} \times 1\text{Hr}$ の等温熱処理(試験No. 1、3、5)
- c.  $950^\circ\text{C} \times 1\text{Hr}$ の等温熱処理(試験No. 2、4、6)

(3) 第2熱処理の条件

- a. Arガス雰囲気を用い、ウェーハ投入温度 $700^\circ\text{C}$
- b.  $1200^\circ\text{C} \times 1\text{Hr}$ の等温熱処理
- c. 降温後、 $1000^\circ\text{C} \times 2\text{Hr}$ の等温熱処理(試験No. 1、2)
- d. 降温後、 $1000^\circ\text{C} \times 4\text{Hr}$ の等温熱処理(試験No. 3、4)
- e. 降温後、 $1000^\circ\text{C} \times 6\text{Hr}$ の等温熱処理(試験No. 5、6)

[0080] 図4に示す結果から、本発明の第2熱処理における、降温後の $1000^\circ\text{C}$ の加熱時間を2時間、4時間および6時間と変化させることによって、ウェーハ中の残存酸素濃度を $6.5 \times 10^{17} \sim 12.0 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ の範囲で制御できることが分かる。

[0081] ところが、本発明の製造方法では、前記図4の結果にも拘わらず、初期格子間酸素(固溶酸素)濃度が $13 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ (ASTM F121-1979)以上のシリコンウェーハを用いる場合には、第2熱処理における中温熱処理(前記図3のh工程)の加熱時間がウェーハ中の残存酸素濃度に及ぼす影響が少なくなる。

[0082] これは、ウェーハの初期格子間酸素(固溶酸素)濃度が比較的に高い場合には、第1熱処理の昇温操作によって微小析出核の成長が十分に促進され、核成長が飽和した状態になるためであり、その後、第2熱処理のh工程で2-10時間の加熱処理を施しても、酸素析出物の成長に及ぼす影響が低下することによる。

[0083] 図5は、初期格子間酸素濃度が高いウェーハを用いる場合における、本発明の第2熱処理での中温熱処理の加熱時間がウェーハ残存酸素濃度に及ぼす影響を示す図である。初期格子間酸素濃度が高いウェーハを用いる場合には、第2熱処理におけるh工程の加熱時間がウェーハ残存酸素濃度に及ぼす影響は少なくなる。



[0084] このことを確認するため、CZ法による8インチ、p型ウェーハを用いて供試材を準備したが、そのサブウェーハ条件および熱処理条件は、次の通りとした。

(1) サブウェーハの条件

a. 炭素濃度  $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F123-1981)

b. 抵抗率  $3000 \Omega \text{ cm}$

初期格子間酸素濃度  $15 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$

d. ウェーハに加工後、 $650^\circ\text{C} \times 1\text{Hr}$ でドナーキラー熱処理を実施。

(2) 第1熱処理の条件

a.  $\text{N}_2$  (含む3% $\text{O}_2$ ) ガス雰囲気を用い、投入温度  $700^\circ\text{C}$  で昇温レート  $1^\circ\text{C/min}$

b.  $900^\circ\text{C} \times 1\text{Hr}$  の等温熱処理

(3) 第2熱処理の条件

a. Arガス雰囲気を用い、ウェーハ投入温度  $700^\circ\text{C}$

b.  $1200^\circ\text{C} \times 1\text{Hr}$  の等温熱処理

c. 降温後、 $1000^\circ\text{C} \times 0\text{Hr}$ 、 $2\text{Hr}$ 、 $4\text{Hr}$  および  $6\text{Hr}$  の等温熱処理

[0085] 図5に示す結果から、初期格子間酸素濃度が高いウェーハを用いる場合には、本発明の第2熱処理における、降温後の  $1000^\circ\text{C}$  の加熱時間を0〜6時間の範囲で変動させても、ウェーハ中の残存酸素濃度への影響が少なく、いずれの場合も  $6.5 \times 10^{17} \sim 12.0 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  の範囲を満足することが分かる。

[0086] すなわち、初期格子間酸素濃度が  $13 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  以上と比較的高いウェーハを使用する場合には、第2熱処理のh工程での等温処理を省いたとしても、所定のウェーハ中の残存酸素濃度を確保することができる。したがって、第2熱処理のh工程での等温処理の省略し、第2熱処理として、 $1150^\circ\text{C}$  以上で1〜2時間の加熱処理のみを施すことができる。これにより、高抵抗シリコンウェーハの製造コストを大幅に削減できるので望ましい。

[0087] さらに、初期格子間酸素濃度が高いウェーハを用いる場合には、微小析出核の成長を促進するための第1熱処理の昇温操作を採用しない場合であっても、第2熱処理による昇温操作と高温熱処理によって、所定のウェーハ残存酸素濃度を確保でき

ることが確認されている。以下、この熱処理を第3熱処理として、その内容を若干説明する。

[0088] 図6は、第3熱処理の加熱温度および加熱時間の条件を示す図である。例えば、第3熱処理では、当該ウェーハを熱処理炉内に投入したのち(j工程)、その後の昇温操作(k工程)を経て、1000℃程度の温度範囲で熱処理を施し(l工程)、さらに昇温して高温熱処理(m、n工程)の後、降温し(o工程)、ウェーハを熱処理炉から取り出す。

[0089] 図7は、初期格子間酸素濃度が高いウェーハを用いる場合における、第3熱処理での1000℃熱処理の加熱時間がウェーハ残存酸素濃度に及ぼす影響を示す図である。k工程における昇温レートは1.0℃/min、1.5℃/minおよび2.0℃/minの3種とした。図7に示す結果から、1000℃熱処理の加熱時間が0Hrの場合でも、残存酸素濃度は $8.8 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ の程度となる。したがって、第3熱処理を採用する場合でも、k工程(昇温操作)とl工程(1000℃熱処理)の組み合わせにより、残存酸素濃度を $6.35 \times 10^{17} \sim 13.1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ の範囲で調整できることが分かる。

[0090] (エピタキシャルウェーハ、SOIウェーハの製造方法)

本発明では、得られた高抵抗シリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成することにより、エピタキシャルウェーハを製造することができる。このように、本発明の製造方法で製造された高抵抗シリコンウェーハにエピタキシャル層を形成してエピタキシャルウェーハを製造すれば、優れた特性を具備することから、例えば、移動体通信用のSOIウェーハの代替として最適なウェーハを提供することができる。

[0091] エピタキシャルウェーハの製造条件については、本発明の製造方法で得られた高抵抗シリコンウェーハを用いる以外に特に限定するものではなく、通常の方法を採用すればよい。エピタキシャルウェーハの製造においては、使用するエピタキシャル成長装置は、バレル型、パンケーキ型、枚様式など周知のエピタキシャル成長装置を採用することができ、周知のエピタキシャル法を採用することができる。

[0092] 本発明では、得られた高抵抗シリコンウェーハを支持基板としてSIMOX型SOIウェーハを製造することができる。本発明の製造方法で製造された高抵抗シリコンウェーハ

ーハを支持基板としてSIMOX型SOIウェーハを製造することにより、例えば、移動体通信用のSOIウェーハとして最適なものとなる。

[0093] SIMOX法によるSOIウェーハの製造条件については、本発明の高抵抗シリコンウェーハを用いる以外には特に限定せず、慣用される条件を用いればよい。すなわち、SIMOXウェーハの製造においては、酸素注入条件として加速電圧180keV〜200keVが通常用いられるが、この範囲よりも高電圧でも低電圧でも適用できる。

[0094] 酸素イオンのドーズ量としては $4 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$ 前後、または $1.0 \times 10^{18} \text{cm}^{-2}$ 以上のドーズ量を用いるのが望ましいが、この範囲以外のドーズ量でも採用できる。アニール条件としては、良質な埋め込み酸化膜を得るために、1300℃以上の温度を用いるのが望ましいが、これよりも低い温度でもよい。また、アニールに用いる雰囲気は、酸化性でも非酸化性でも使用することができる。

[0095] 本発明では、得られた高抵抗シリコンウェーハを支持基板側ウェーハとして貼り合わせ型SOIウェーハを製造することができる。本発明の製造方法で製造された高抵抗シリコンウェーハを支持基板側ウェーハとして貼り合わせ型SOIウェーハを製造することにより、例えば、移動体通信用のSOIウェーハとして最適なものとなる。

[0096] 貼り合わせ型SOIウェーハの製造条件については、本発明の高抵抗シリコンウェーハを支持基板側ウェーハとして用いる以外には、特に限定する必要はない。具体的には、活性層側となる他のシリコンウェーハを用意し、酸化雰囲気中で、活性層側ウェーハまたは／および支持基板ウェーハを1000℃以上の温度で熱処理してウェーハ表面に熱酸化膜を形成する。

[0097] 次に、活性層側ウェーハと支持基板側ウェーハとを密着させた後、熱処理を施して活性層側ウェーハと支持基板側ウェーハを強固に結合させ、貼り合わせウェーハとする。これらのウェーハを結合させる熱処理条件としては、酸素または水蒸気を含む雰囲気中で、400〜1200℃で加熱処理を行えばよい。

[0098] さらに望ましくは、900℃の温度で熱処理することで、二枚のウェーハを強固に結合させることができる。なお、厚膜のSOIウェーハを製造する場合には、活性層側ウェーハにも、本発明方法で得られた高抵抗ウェーハを使用するのが望ましい。

## 実施例

## [0099] (実施例1)

本発明の効果を確認するため、CZ法で育成し、抵抗率が $2000\ \Omega\text{cm}$ で、初期格子間酸素濃度が $10\sim 15\times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$  (ASTM F121-1979)で、さらに炭素濃度が $5\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3$  (ASTM F123-1981)の8インチ、p型ウェーハに加工後、 $650^\circ\text{C}$ で1時間のドナーキラー熱処理を実施したサブウェーハを準備した。

[0100] 準備したサブウェーハに、第1熱処理として $\text{N}_2$  (含む3% $\text{O}_2$ )ガス雰囲気を用い、ウェーハ投入温度 $700^\circ\text{C}$ で昇温レートを $1^\circ\text{C}/\text{min}$ とし、 $900^\circ\text{C}$ で1時間の加熱処理を施した。次いで、第2熱処理としてArガス雰囲気を用い $1200^\circ\text{C}$ で1時間の加熱処理後に、 $1000^\circ\text{C}$ に降温して10時間の加熱処理を施した。

[0101] 上記熱処理後に得られたウェーハを用いて、横型枚様式のエピタキシャル成長炉で約 $1180^\circ\text{C}$ の水素ベーク処理後、原料ソースガスとしてトリクロロシランを用い、約 $1130^\circ\text{C}$ の温度でエピタキシャル層厚 $5\ \mu\text{m}$ のシリコンエピタキシャル成長処理を行った。

[0102] 得られたエピタキシャルウェーハに、デバイス製造の熱処理条件として、 $\text{N}_2$  (含む3% $\text{O}_2$ )雰囲気中で $400^\circ\text{C}\times 1$ 時間の熱処理を行った後、ウェーハ内部に発生する酸素ドナー発生量を調査した。その結果、いずれのウェーハも、全て酸素ドナー量が $1\times 10^{13}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下であり、抵抗率に変動のないエピタキシャルウェーハが得られたことを確認した。

## [0103] (実施例2)

初期格子間酸素濃度が比較的高いウェーハの効果を確認するため、実施例1と同様に、抵抗率が $2000\ \Omega\text{cm}$ で、初期格子間酸素濃度が $13\sim 15\times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$  (ASTM F121-1979)で、さらに炭素濃度が $5\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^3$  (ASTM F123-1981)で、 $650^\circ\text{C}$ で1時間のドナーキラー熱処理を実施したサブウェーハを準備した。

[0104] 実施例1と同条件の第1熱処理を施し、次いで、第2熱処理としてArガス雰囲気を用い $1200^\circ\text{C}$ で1時間の加熱処理を施した後、中温熱処理を施すことなく直ちに $600^\circ\text{C}$ で取り出した。得られたウェーハを用いて、横型枚様式のエピタキシャル成長炉で、実施例1と同条件のシリコンエピタキシャル成長処理を行った。

- [0105] 得られたエピタキシャルウェーハに、実施例1と同条件で酸素ドナー発生量を調査した結果、いずれのウェーハも、全て酸素ドナー量が $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であり、抵抗率に変動のないエピタキシャルウェーハが得られたことを確認した。
- [0106] (実施例3)
- 実施例1と同様に、抵抗率が $2000 \Omega \text{ cm}$ で、初期格子間酸素濃度が $10 \sim 15 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979)で、さらに炭素濃度が $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F123-1981)の8インチ、p型サブウェーハを準備し、さらに、同じ条件の第1熱処理および第2熱処理を施して、シリコンウェーハを製造した。
- [0107] 製造されたシリコンウェーハを用い、酸素イオンをウェーハ表面側から100keVの加速電圧で打ち込んだ。そして、このウェーハを700℃に保持した熱処理炉に投入した後、1320℃まで昇温し、10時間保持した。その後、ウェーハを700℃まで冷却し、熱処理炉から取り出してSIMOXウェーハを製造した。
- [0108] 得られたSIMOX型SOIウェーハに、デバイス製造の熱処理条件として、 $\text{N}_2$  (含む3%  $\text{O}_2$ ) 雰囲気中で400℃×1時間の熱処理を行った後、活性層および支持基板内部に発生する酸素ドナー発生量を調査した。その結果、全て酸素ドナー量が $1 \times 10^{13} \text{ atoms/cm}^3$ 以下であり、抵抗率に変動のないSIMOX型SOIウェーハが得られたことを確認した。
- [0109] (実施例4)
- 実施例1と同様に、抵抗率が $2000 \Omega \text{ cm}$ で、初期格子間酸素濃度が $10 \sim 15 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F121-1979)で、さらに炭素濃度が $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$  (ASTM F123-1981)の8インチ、p型サブウェーハを準備し、さらに、同じ条件の第1熱処理および第2熱処理を施して、シリコンウェーハを製造した。
- [0110] 製造されたシリコンウェーハを用い、酸化雰囲気中で1000℃の熱処理を行い、ウェーハ表面に熱酸化膜を形成した。次に、このウェーハが支持基板となるように、活性層となる他のウェーハを密着させ、1150℃の温度で接合し貼り合わせた。その後、活性層側ウェーハを厚さ0.5  $\mu\text{m}$ まで研磨・エッチング処理することで貼り合わせ型SOIウェーハを製造した。
- [0111] 得られた貼り合わせ型SOIウェーハに、デバイス製造の熱処理条件として、 $\text{N}_2$  (含

む3%O<sub>2</sub>)雰囲気中で400℃×1時間の熱処理を行った後、支持基板内部に発生する酸素ドナー発生量を調査した。結果は、全て酸素ドナー量が $1 \times 10^{13}$  atoms/cm<sup>3</sup>以下であり、抵抗率に変動のない貼り合わせ型SOIウェーハであることを確認した。

#### 産業上の利用の可能性

- [0112] 本発明の高抵抗シリコンウェーハの製造方法によれば、CZ法により得られた、高抵抗で炭素を含有するシリコンウェーハを用いて、昇温操作(ランピング)による第1熱処理と、高温熱処理および中温熱処理とからなる第2熱処理とを組み合わせることにより、効率的に酸素ドナーの生成を抑制でき、デバイス製造の工程における熱処理後においても、高抵抗が維持でき、抵抗率の変動を抑制した高抵抗シリコンウェーハを得ることができる。さらに、この高抵抗シリコンウェーハを用いれば、優れたエピタキシャルウェーハおよびSOIウェーハを製造できるので、高周波通信デバイスまたはアナログ、デジタル混載デバイス等、広い分野で適用することができる。

## 請求の範囲

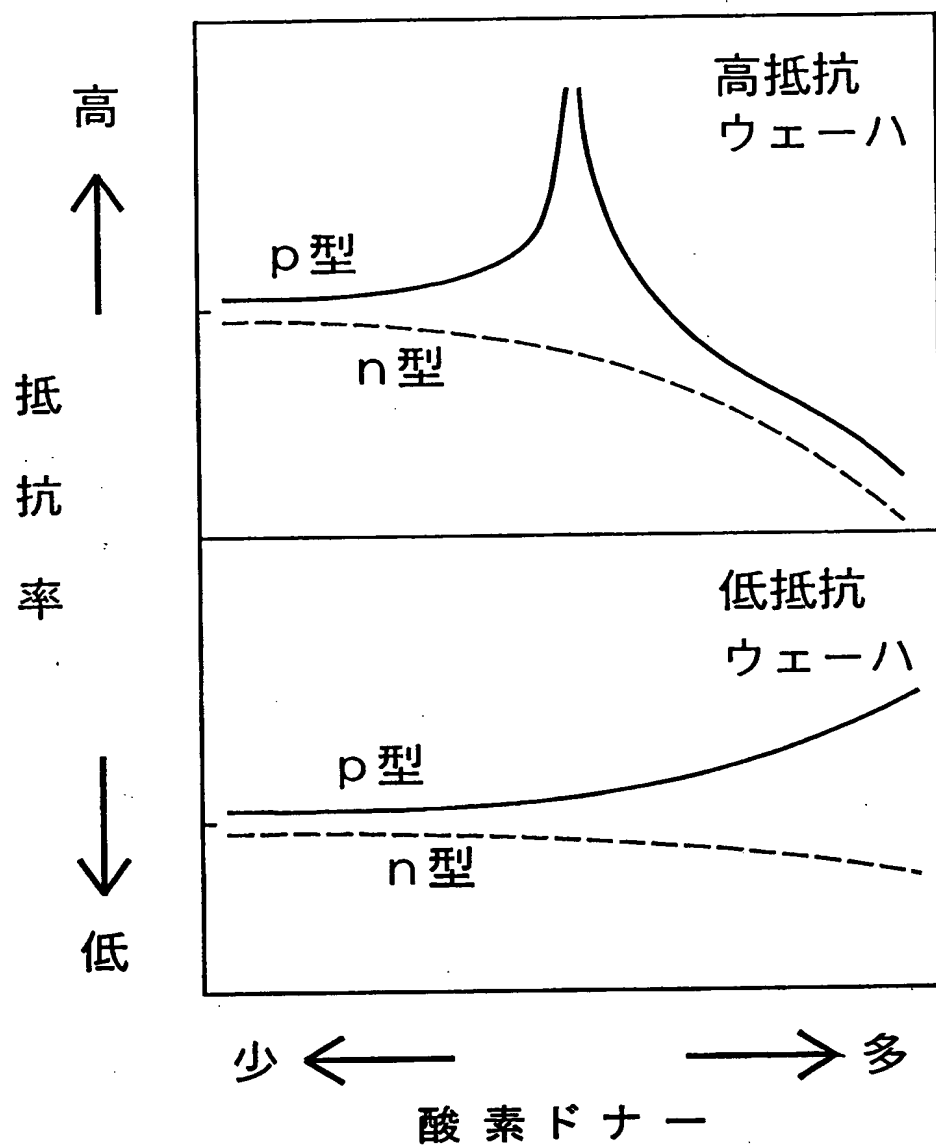
- [1] チョクラルスキー法により抵抗率が $100\ \Omega\text{cm}$ 以上で、初期格子間酸素濃度が $8 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$  (ASTM F121-1979) 以上であり、さらに炭素濃度が $5 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$  (ASTM F123-1981) であるシリコンウェーハを用いて、  
第1熱処理として、少なくとも $700 \sim 850^\circ\text{C}$ の温度領域における昇温レートを $0.5 \sim 10^\circ\text{C}/\text{min}$ とし、 $850 \sim 1000^\circ\text{C}$ で $0.5 \sim 5$ 時間の加熱処理を施し、  
さらに第2熱処理として、 $1150^\circ\text{C}$ 以上で $1 \sim 2$ 時間の加熱処理に引き続き、降温して $1000 \sim 1150^\circ\text{C}$ で $2 \sim 10$ 時間の加熱処理を施すことを特徴とする高抵抗シリコンウェーハの製造方法。
- [2] 前記初期格子間酸素濃度が $13 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$  (ASTM F121-1979) 以上であるシリコンウェーハを用いる場合に、前記第2熱処理として、 $1150^\circ\text{C}$ 以上で $1 \sim 2$ 時間の加熱処理のみを施すことを特徴とする請求項1に記載の高抵抗シリコンウェーハの製造方法。
- [3] 前記第1熱処理および第2熱処理が非酸化性雰囲気中で、連続して行われることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の高抵抗シリコンウェーハの製造方法。
- [4] 得られたシリコンウェーハにデバイス製造の工程における熱処理がおこなわれたとき、ウェーハ内部に発生する酸素ドナー量が $1 \times 10^{13}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下であることを特徴とする請求項1～請求項3のいずれかに記載の高抵抗シリコンウェーハの製造方法。
- [5] 得られたシリコンウェーハの残存酸素濃度が $6.5 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$  (ASTM F121-1979) 以上で、かつ $13.5 \times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$  (ASTM F121-1979) 以下であり、デバイス製造の工程における熱処理がおこなわれたとき、ウェーハ内部に発生する酸素ドナー量が $1 \times 10^{13}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以下であることを特徴とする請求項1～請求項3のいずれかに記載の高抵抗シリコンウェーハの製造方法。
- [6] 前記請求項1～請求項5のいずれかに記載の製造方法により得られた高抵抗シリコンウェーハの表面にエピタキシャル層を形成することを特徴とするエピタキシャルウェーハの製造方法。
- [7] 前記請求項1～請求項5のいずれかに記載の製造方法により得られた高抵抗シリ

コンウェーハを支持基板としてSIMOX型SOIウェーハを製造することを特徴とするSOIウェーハの製造方法。

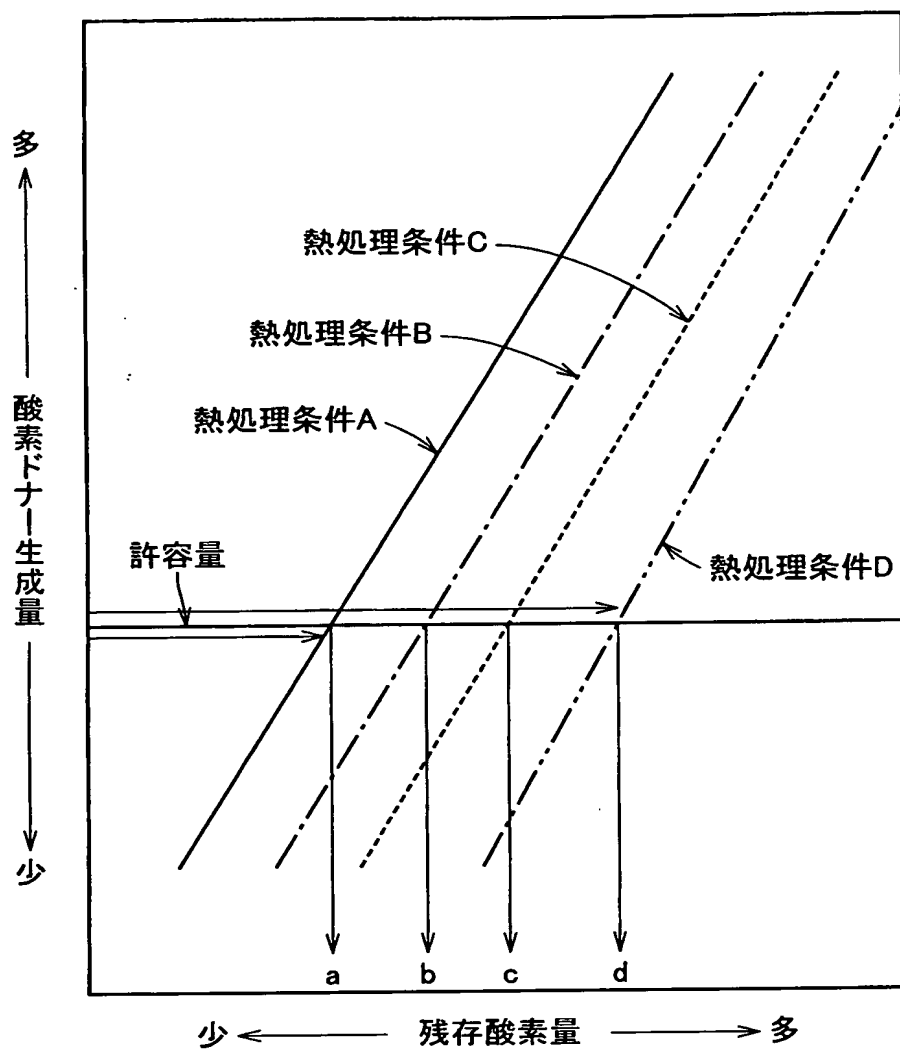
- [8] 前記請求項1〜請求項5のいずれかに記載の製造方法により得られた高抵抗シリコンウェーハを支持基板側ウェーハとして貼り合わせ型SOIウェーハを製造することを特徴とするSOIウェーハの製造方法。



[図1]

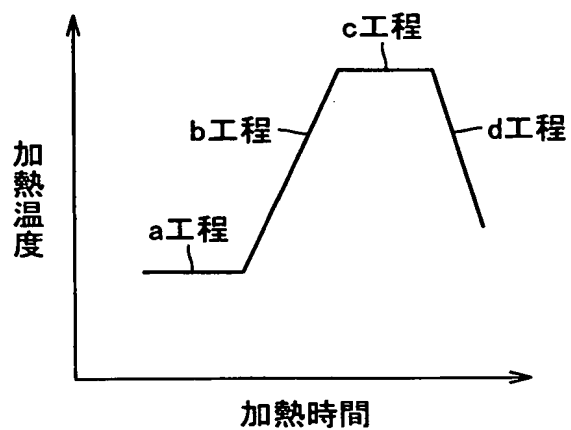


[図2]

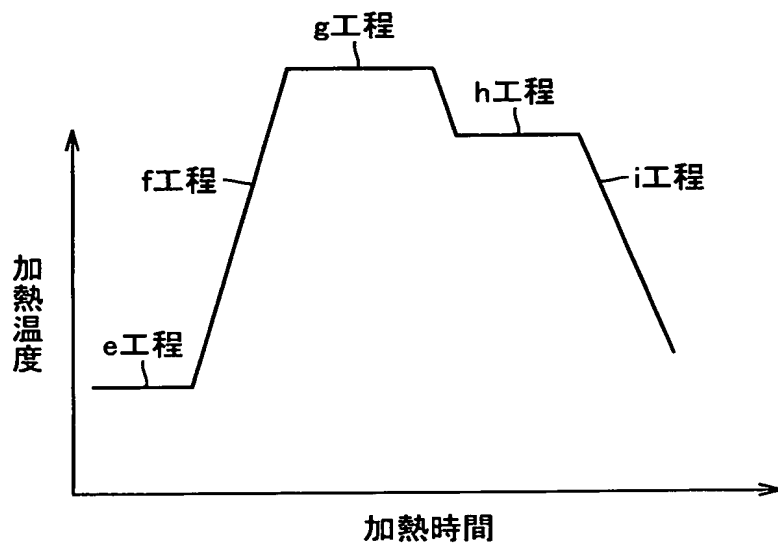


[図3]

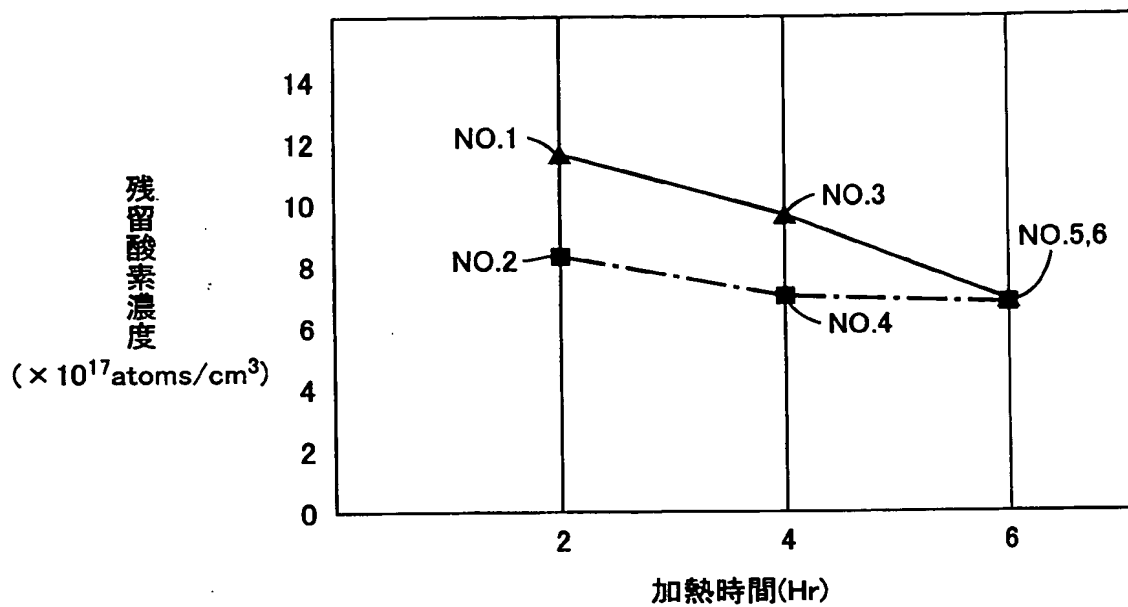
(a)第1熱処理



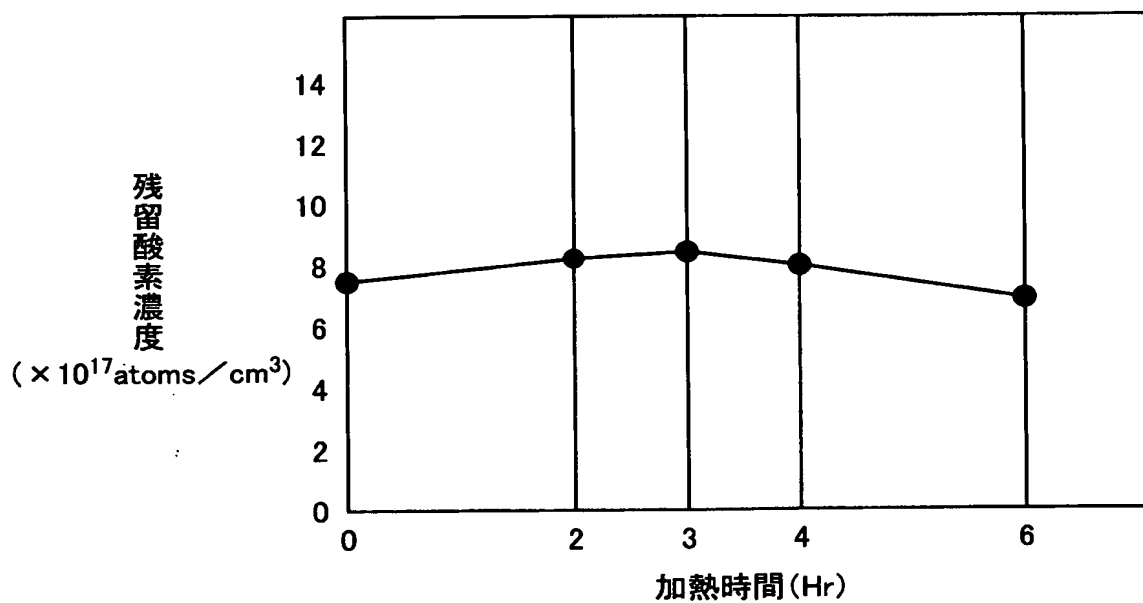
(b)第2熱処理



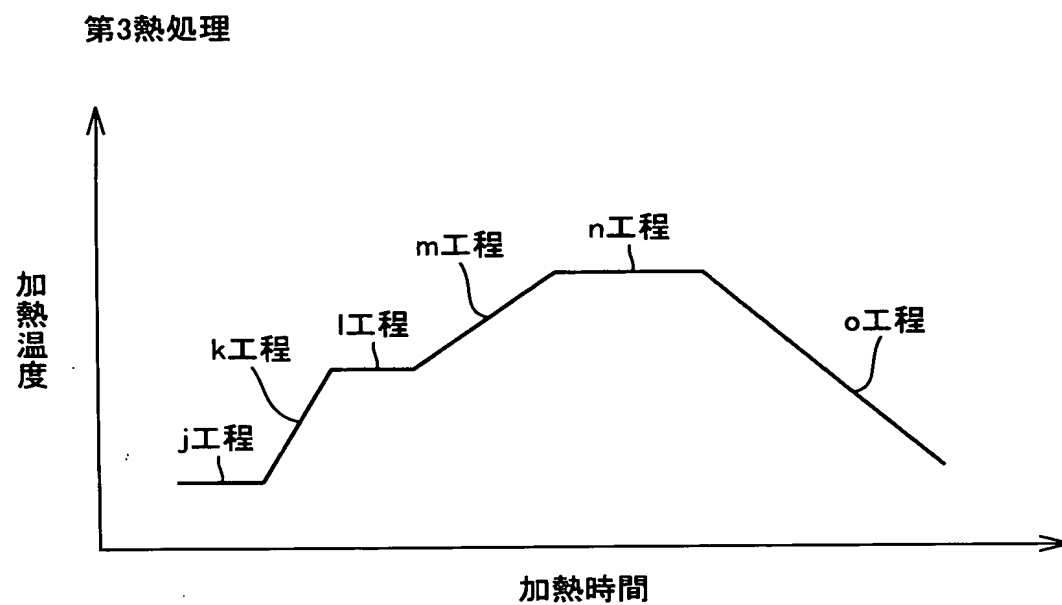
[図4]



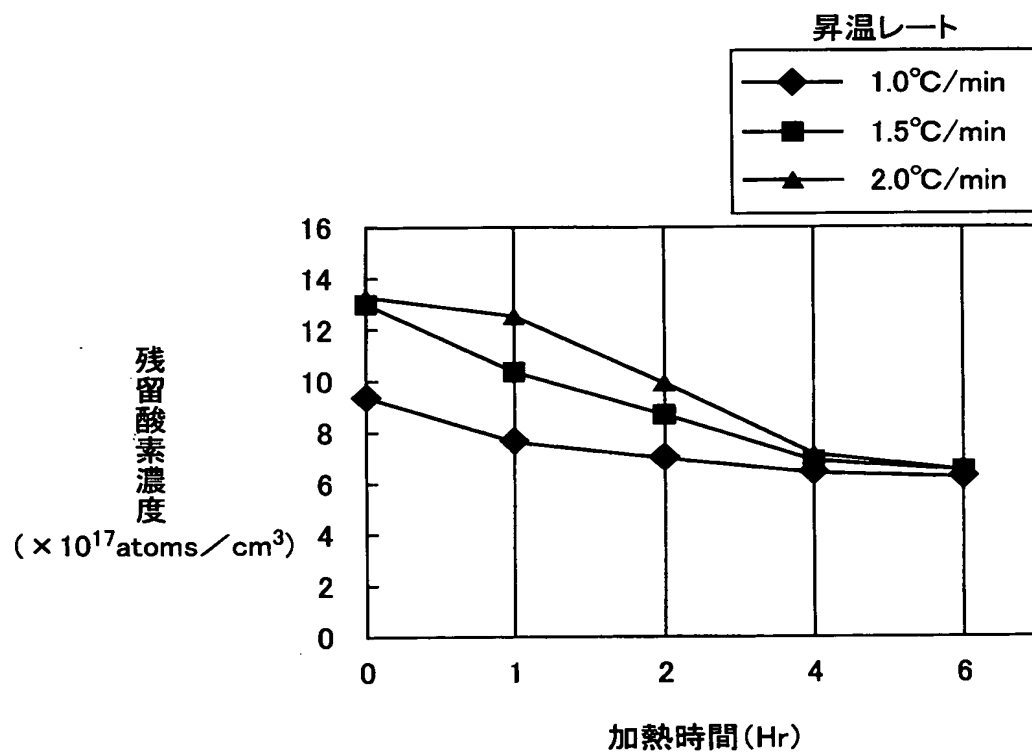
[図5]



[図6]



[図7]



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011050

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01L21/322, C30B29/06, H01L27/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01L21/322, C30B29/06, H01L21/324, H01L27/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2000/055397 A1 (Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.), 21 September, 2000 (21.09.00), Page 7, lines 5 to 6; page 18, lines 1 to 16; all drawings & EP 1087041 A1 & US 6544656 B1	1-8
A	JP 2000-344598 A (Nippon Steel Corp.), 12 December, 2000 (12.12.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
20 October, 2004 (20.10.04)

Date of mailing of the international search report  
02 November, 2004 (02.11.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/011050

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2001/079593 A1 (Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.), 25 October, 2001 (25.10.01), Full text; all drawings & EP 1229155 A1 & US 2002/179003 A1	1-8
A	JP 2003-286094 A (Sumitomo Mitsubishi Silicon Corp.), 07 October, 2003 (07.10.03), Full text; all drawings (Family: none)	1-8
P,X	WO 2003/092065 A1 (Sumitomo Mitsubishi Silicon Corp.), 06 November, 2003 (06.11.03), Full text; all drawings & JP 2004-6615 A	1-8
P,X	WO 2004/008521 A1 (Sumitomo Mitsubishi Silicon Corp.), 22 January, 2004 (22.01.04), Full text; all drawings (Family: none)	1-8

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. <sup>7</sup> H01L21/322、C30B29/06、H01L27/12

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. <sup>7</sup> H01L21/322、C30B29/06、H01L21/324、H01L27/12

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	WO 2000/055397 A1 (信越半導体株式会社) 2000. 09. 21, 第7頁第5行~第6行、第18頁第1行~第16行、全図 & EP 1087041 A1 & US 6544656 B1	1-8
A	JP 2000-344598 A (新日本製鐵株式会社) 2000. 12. 12, 全文、全図 (ファミリーなし)	1-8
A	WO 2001/079593 A1 (信越半導体株式会社) 2001. 10. 25, 全文、全図 & EP 1229155 A1 & US 2002/179003 A1	1-8

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

20. 10. 2004

国際調査報告の発送日

02.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J-P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

綿引 隆

4M

2934

電話番号 03-3581-1101 内線 3460



C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2003-286094 A(三菱住友シリコン株式会社)2003. 10. 07, 全文、全図(ファミリーなし)	1-8
P X	WO 2003/092065 A1(三菱住友シリコン株式会社)2003. 11. 06, 全文、全図 & JP 2004-6615 A	1-8
P X	WO 2004/008521 A1(三菱住友シリコン株式会社)2004. 01. 22, 全文、全図(ファミリーなし)	1-8